

PCT

WELTORGANISATION FÜR GEISTIGES EIGENTUM

Internationales Büro

INTERNATIONALE ANMELDUNG VERÖFFENTLICHT NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE
INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT)



(51) Internationale Patentklassifikation 5 : G01B 21/08, 11/06		A1	(11) Internationale Veröffentlichungsnummer: WO 91/15733 (43) Internationales Veröffentlichungsdatum: 17. Oktober 1991 (17.10.91)
(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/DE91/00292 (22) Internationales Anmeldedatum: 5. April 1991 (05.04.91)		(74) Anwalt: NAUMANN, Ulrich; Ullrich & Naumann, Gaisbergstraße 3, D-6900 Heidelberg 1 (DE).	
(30) Prioritätsdaten: P 40 11 717.0 11. April 1990 (11.04.90) DE		(81) Bestimmungsstaaten: AT (europäisches Patent), BE (europäisches Patent), CH (europäisches Patent), DE (europäisches Patent), DK (europäisches Patent), ES (europäisches Patent), FR (europäisches Patent), GB (europäisches Patent), GR (europäisches Patent), IT (europäisches Patent), JP, LU (europäisches Patent), NL (europäisches Patent), SE (europäisches Patent), US.	
(71) Anmelder (<i>für alle Bestimmungsstaaten ausser US</i>): MICRO-EPSILON MESSTECHNIK GMBH & CO. KG [DE/DE]; Königbacherstraße 15, D-8359 Ortenburg (DE). (72) Erfinder; und (75) Erfinder/Anmelder (<i>nur für US</i>): WISSPEINTNER, Karl [DE/DE]; Grießbacherstraße 23, D-8359 Ortenburg (DE), MANDEL, Roland [DE/DE]; Hainberger Weg 8, D-8359 Ortenburg (DE).		Veröffentlicht <i>Mit internationalem Recherchenbericht. Vor Ablauf der für Änderungen der Ansprüche zugelassenen Frist. Veröffentlichung wird wiederholt falls Änderungen eintreffen.</i>	
(54) Title: PROCESS FOR CALIBRATING A THICKNESS TESTER AND THICKNESS TESTER FOR MEASURING THE THICKNESS OF OR MONITORING COATINGS, STRIPS, FILMS OR THE LIKE			
(54) Bezeichnung: VERFAHREN ZUM KALIBRIEREN EINER DICKE MESSEINRICHTUNG UND DICKE MESSEINRICHTUNG ZUR DICKE MESSUNG BZW. ÜBERWACHUNG VON SCHICHTDICKEN, BÄNDERN, FOLIEN ODER DGL.			
(57) Abstract			
<p>A process for calibrating a thickness tester with preferably two travel measuring sensors (2, 3) operating with or without contact is proposed in which thickness testers operating on various measuring principles can be easily calibrated, where the measurement must be performed, by means of a reference object (7).</p>			
(57) Zusammenfassung			
<p>Ein Verfahren zum Kalibrieren einer Dickenmeßeinrichtung mit vorzugsweise zwei berührungslos oder tastend arbeitenden Wegmessensoren (2, 3) wird angegeben, mit dem nach unterschiedlichen Meßprinzipien arbeitende Dickenmeßeinrichtungen mittels eines Referenzobjektes (7) auf einfache Weise - am Meßort - kalibriert werden können.</p>			

BEST AVAILABLE COPY

**"Verfahren zum Kalibrieren einer Dickenmeßeinrichtung und
Dickenmeßeinrichtung zur Dickenmessung bzw. Überwachung von
Schichtdicken, Bändern, Folien oder dgl."**

Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zum Kalibrieren einer Dickenmeßeinrichtung. Die vorliegende Erfindung betrifft insbesondere ein Verfahren zum Kalibrieren einer Dickenmeßeinrichtung mit zwei berührungslos oder tastend arbeitenden Wegmeßsensoren.

Des Weiteren betrifft die vorliegende Erfindung eine Dickenmeßeinrichtung zur Dickenmessung bzw. Überwachung von Schichtdicken, Bändern, Folien oder dgl. mit mindestens zwei berührungslos oder tastend arbeitenden, nebeneinander oder einander gegenüberliegend angeordneten Wegmeßsensoren, insbesondere zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens.

Dickenmeßeinrichtungen sind in den verschiedensten Ausführungen aus der Praxis bekannt und arbeiten entweder berührungslos oder tastend.

Im Falle der Banddickenmessung bzw. Banddickenüberwachung werden laufende Bänder üblicherweise mit zwei einander gegenüberliegend angeordneten Wegmeßsensoren in ihrer Dicke vermessen. Dabei wird gemäß der Darstellung in Fig. 1 die Dicke D aus den Abständen A, B der beiden Sensoren zu dem zu überwachenden Band und aus dem Abstand C der Wegmeßsensoren zueinander ermittelt. Die Rechenoperation zur Ermittlung der Banddicke D lautet

$$D = C - (A + B)$$

- 2 -

Je nach Bandmaterial, Bandgeschwindigkeit, Umwelt und geforderter Genauigkeit sind bei der Dickenmessung unterschiedliche Meßprinzipien, d.h. nach unterschiedlichen Meßprinzipien arbeitende Wegmeßsensoren, anzuwenden.

Im Falle hinsichtlich ihrer Dicke zu überwachender Metallbänder lassen sich bei geringer Bandgeschwindigkeit und unempfindlicher Bandoberfläche induktive Meßtaster mit rollender oder gleitender Tastspitze verwenden. Bei empfindlicher Bandoberfläche und/oder hoher Bandgeschwindigkeit und/oder zu vermeidender Krafteinwirkung auf das zu überwachende Band werden berührungslos arbeitende Dickenmeßeinrichtungen mit Wirbelstromsensoren, kapazitiven oder optischen Sensoren verwendet, die beim Band keinen Verschleiß hervorrufen.

Sollen dagegen nicht-metallische Bänder hinsichtlich ihrer Dicke überwacht werden, arbeitet die Dickenmeßeinrichtung üblicherweise dann mit induktiven Meßtastern, wenn das Band mit geringer Geschwindigkeit transportiert wird oder wenn es eine unempfindliche Oberfläche aufweist. Bei empfindlicher Bandoberfläche, weichem Bandmaterial, sauberer Umwelt, hoher Bandgeschwindigkeit und unerwünschter Krafteinwirkung auf das Band wird meist berührungslos mit kapazitiven oder optischen Sensoren gemessen. Im Rahmen der berührungslosen Abstandsmessung ist es auch möglich, einen mit konstantem Abstand über dem Band schwebenden Wirbelstromsensor zu verwenden.

Die voranstehenden Ausführungen gelten selbstverständlich auch für Dickenmessungen an Folien und für Schichtdickenmessungen von Isolierstoffen auf leitfähigen Materialien.

Die in den bekannten Dickenmeßeinrichtungen verwendeten Wegmeßsensoren sind jedoch in der Praxis problematisch, da sie innerhalb ihres Meßbereichs ein nichtlineares Verhalten zeigen. Durch Flattern des zu überwachenden Bandes, durch unterschiedliche Banddicken oder durch Bewegung des Bandes zu den Wegmeß-

- 3 -

sensoren hin oder von den Wegmeßsensoren weg werden von den Wegmeßsensoren unterschiedliche Abstände gemessen. Diese unterschiedlichen Abstände sind entsprechend dem nichtlinearen Verhalten der Wegmeßsensoren über den Meßbereich hinweg fehlerbehaftet, so daß schließlich die sich aus der voranstehend erörterten Gleichung, d.h. aus den von den Wegmeßsensoren gemessenen Einzelabständen, ergebende Dicke ebenfalls fehlerbehaftet ist.

Bislang hat man versucht, die Nichtlinearität der einzelnen Wegmeßsensoren durch "Durchfahren" des gesamten Meßbereichs jedes der Wegmeßsensoren mittels eines von einer Mikrometer-schraube geführten Objektes zu ermitteln und so die Wegmeßsensoren zu kalibrieren. Eine solche Kalibrierung erfolgt aufgrund des apparativen Umstandes entweder im Labor des Geräteherstellers oder vor Ort durch Fachpersonal des Geräteherstellers. Durch Temperaturschwankungen bzw. thermische Verschiebungen am Meßort verursachte Meßfehler, Langzeitdrifts der Wegmeßsensoren oder dgl. werden bei den bekannten Dickenmeßeinrichtungen nicht berücksichtigt. Vielmehr ist ein aufwendiges Nachkalibrieren der bekannten Dickenmeßeinrichtung erforderlich, das zur Berücksichtigung der Umwelt vom Wartungspersonal des Geräteherstellers vor Ort oder unter simulierten Umweltbedingungen im Labor des Herstellers durchgeführt werden muß.

Der Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren zum Kalibrieren einer Dickenmeßeinrichtung anzugeben, mit dem eine Dickenmeßeinrichtung beliebig oft und auf einfache Weise am Meßort kalibriert werden kann. Des Weiteren soll eine Dickenmeßeinrichtung angegeben werden, mit der das automatische Kalibrieren am Meßort möglich ist.

Das erfindungsgemäße Verfahren, bei dem die zuvor aufgezeigte Aufgabe gelöst ist, ist durch die Merkmale des Patentanspruches 1 beschrieben. Danach werden zum Kalibrieren einer Dickenmeßeinrichtung mit vorzugsweise zwei berührungslos oder tastend

— 4 —

arbeitenden Wegmeßsensoren folgende Verfahrensschritte durchführt: In das Meßfeld der Wegmeßsensoren der Dickenmeßeinrichtung wird ein Referenzobjekt mit vorgegebener Dicke verbracht. Anschließend wird das Referenzobjekt innerhalb des Meßfeldes der Wegmeßsensoren bewegt. Dabei wird in beliebig vielen Relativlagen des Referenzobjektes der Abstand zwischen den Wegmeßsensoren und dem Referenzobjekt bzw. die Dicke des Referenzobjektes gemessen. Für jede Relativlage wird die sich aus der Unlinearität der Wegmeßsensoren ergebende Abweichung der Sensormeßwerte von der vorgegebenen Dicke des Referenzobjektes als dem jeweiligen Sensormeßwert zugeordneter Meßfehler gespeichert, so daß bei der Dickenmessung die Unlinearitäten der Sensoren kompensiert werden können.

Erfindungsgemäß ist erkannt worden, daß sich die Unlinearität der Dickenmeßeinrichtung bzw. der dort verwendeten Wegmeßsensoren auf einfache Weise vor Ort kompensieren läßt. Durch ein hinsichtlich seiner Dicke in etwa dem später zu überwachten bzw. zu messenden Objekt entsprechendes Referenzobjekt mit bekannter Dicke wird der Meßbereich der Wegmeßsensoren "durchfahren", so daß zu jeder Relativlage des Referenzobjektes zu den Wegmeßsensoren die Abweichung der Meßwerte von dem tatsächlichen Abstand zu dem Referenzobjekt bzw. zu der bekannten Dicke, als durch die Unlinearität der Wegmeßsensoren hervorgerufener Meßfehler ermittelt wird. Dieser Meßfehler wird als dem jeweiligen Sensormeßwert zugeordneter Meßfehler gespeichert, so daß bei der Dickenmessung die Unlinearitäten der Wegmeßsensoren dadurch kompensiert werden können, daß die jeweiligen Meßwerte mittels der ermittelten Meßfehler durch Addition oder Subtraktion bereinigt werden.

Die nachgeordneten Patentansprüche 2 bis 11 enthalten vorteilhafte Ausgestaltungen des erfundungsgemäßen Verfahrens. Danach läßt sich das erfundungsgemäße Verfahren in vorteilhafter Weise dadurch weiterbilden, daß die Bewegung des Referenzobjektes im Meßbereich der Wegmeßsensoren durch Auslenkung des Referenzob-

- 5 -

jetes mechanisch, vorzugsweise mittels eines Stößels, erfolgt und daß das Referenzobjekt dabei zu den Wegmeßsensoren hin bzw. von den Wegmeßsensoren weg bewegt wird. In diesem Falle wird das Referenzobjekt über eine eigens dafür vorgesehene Vorrichtung ausgelenkt. Bei einander gegenüberliegend angeordneten Sensoren (vgl. Fig. 1) bedeutet dies, daß das Referenzobjekt zwischen den Sensoren hin und her bewegt wird. Dadurch wird das Referenzobjekt im Meßbereich der Sensoren bewegt, so daß zu jeder Relativlage des Referenzobjektes zu den Sensoren die Abweichung von der tatsächlichen Dicke des Referenzobjektes, d.h. der Meßfehler der Dickenmeßeinrichtung, ermittelt werden kann.

Ebenso läßt sich die Bewegung des Referenzobjektes im Meßbereich der Wegmeßsensoren durch Auslenkung des Referenzobjektes mittels eines Magneten erreichen. Das Referenzobjekt wird dabei ebenfalls zu den Wegmeßsensoren hin bzw. von den Wegmeßsensoren weg bewegt. In diesem Falle muß entweder das Referenzobjekt selbst oder eine Halterung für das Referenzobjekt magnetisch beeinflußbar sein. Die Auslenkung des Referenzobjektes könnte in besonders vorteilhafter Weise auch pneumatisch oder durch auf die Oberfläche des Referenzobjektes gespritztes Wasser erfolgen.

In besonders vorteilhafter Weise wird das Referenzobjekt parallel zu den aktiven Flächen der Wegmeßsensoren in deren Meßfeld, d.h. in Förderrichtung eines später zu messenden Objektes, bewegt. Unebenheiten des Referenzobjektes selbst, ein Flattern des Referenzobjektes beim Bewegen oder bewußt hervorgerufene Bewegungen des Referenzobjektes orthogonal zu dessen eigentlicher Förderrichtung bewirken das "Durchfahren" des Meßbereichs der Wegmeßsensoren, so daß hierbei der den jeweiligen Relativpositionen des Referenzobjektes zu den Wegmeßsensoren zuzuordnende Meßfehler in besonders vorteilhafter Weise ermittelbar ist.

- 6 -

Vor der eigentlichen Dickenmessung könnte das Referenzobjekt automatisch in das Meßfeld der Wegmeßsensoren hineinbewegt werden. Zur Ermittlung der durch die Unlinearität der Wegmeßsensoren hervorgerufenen Meßfehler würde dann das Referenzobjekt entsprechend voranstehender Ausführungen durch das Meßfeld hindurchbewegt und auch wieder aus dem Meßfeld herausbewegt werden.

Nun sollen mit einer Dickenmeßeinrichtung Bänder, Folien oder Schichten mit unterschiedlichen Schichtdicken gemessen bzw. überwacht werden. Zur Eingrenzung des Meßbereichs der Wegmeßsensoren ist es erforderlich, beim Kalibrieren der Dickenmeßeinrichtung Referenzobjekte einzusetzen, die in etwa die Dicke des jeweils zu überwachenden Objektes aufweisen. Folglich sind je nach Dicke der zu überwachenden Objekte unterschiedlich dicke Referenzobjekte zum Kalibrieren zu verwenden. Diese könnten bei einer universellen Dickenmeßeinrichtung in vorteilhafter Weise aus einem mehrere Referenzobjekte mit unterschiedlichen Dicken aufweisenden Magazin ausgewählt werden. Die Vorkehrung eines solchen Magazins mit unterschiedlich dicken Referenzobjekten würde einen Beitrag zur vollautomatischen Auslegung einer Dickenmeßeinrichtung liefern.

Hinsichtlich eines vollautomatischen Dickenmeßbetriebes wäre es besonders vorteilhaft, wenn die Kalibrierung der Dickenmeßeinrichtung bei auswählbaren Referenzobjekten in vorgebbaren Zeitabständen erfolgen würde, so daß eine ständige Anpassung der Wegmeßsensoren an Umwelteinflüsse oder Langzeitdrifts erfolgt. Eine solche Dickenmeßeinrichtung wäre dann völlig unabhängig von irgendwelchen Nachkalibrierungsarbeiten seitens herstellerseitigem Personal.

- 7 -

Ebenso könnte als Referenzobjekt das hinsichtlich seiner Dicke zu überwachende Band bzw. die zu überwachende Folie verwendet werden. Dabei wäre dann der Soll-Wert des zu überwachenden Bandes bzw. der zu überwachenden Folie als Referenzwert vorzugeben.

Da bei ortsfesten Wegmeßsensoren der Abstand des einen Wegmeßsensors vom Referenzobjekt bzw. vom zu überwachenden Objekt eine lineare Funktion des Abstandes des anderen Wegmeßsensors vom Referenzobjekt bzw. vom zu überwachenden Objekt ist, genügt es, wenn zur Kompensation der Unlinearitäten der Wegmeßsensoren lediglich die den Meßwerten eines der Wegmeßsensoren zugeordneten Meßfehler herangezogen werden.

Sollen nun Bänder oder Folien überwacht werden, für die keine Referenzobjekte mit entsprechenden Dicken vorhanden sind, lassen sich die aus den Meßfehlern bei verfügbaren Referenzobjekten mit vorgegebenen Dicken ermittelten Kennlinien der Meßfehler für nicht verfügbare Zwischengrößen linear hochrechnen. Dazu eignen sich insbesondere bekannte Interpolationsverfahren, z.B. mittels eines aus der Bildverarbeitung bekannten zweidimensionalen Mittelwertfilters.

Hinsichtlich des erfindungsgemäßen Verfahrens ist schließlich zu erwähnen, daß in vorteilhafter Weise die sich für jede Relativlage eines Referenzobjektes aus der Unlinearität der Wegmeßsensoren ergebende Abweichung der Sensormeßwerte von der vorgegebenen Dicke des Referenzobjektes als den Sensormeßwerten zugeordnete Meßfehler in digitalisierter Form in einem eigens dafür vorgesehenen Speicher abgelegt werden.

Die erfindungsgemäße Dickenmeßeinrichtung, bei der die hier zu grundeliegende Aufgabe gelöst ist, ist durch die Merkmale des Patentanspruches 12 beschrieben. Danach ist bei einer Dickenmeßeinrichtung zur Dickenmessung bzw. Überwachung von Schicht-

- 8 -

dicken, Bändern, Folien oder dgl. mit mindestens zwei berührungslos oder tastend arbeitenden, nebeneinander oder einander gegenüberliegend angeordneten Wegmeßsensoren, eine Vorrichtung zum automatischen Einführen eines Referenzobjektes in das Meßfeld der Wegmeßsensoren vorgesehen. Mit einer solchen Dickenmeßeinrichtung läßt sich das voranstehend beschriebene erfundungsgemäße Verfahren durchführen.

In besonders vorteilhafter Weise weist die Vorrichtung zum automatischen Einführen von Referenzobjekten der erfundungsgemäß Dickenmeßeinrichtung eine Fördereinrichtung auf, mit der das Referenzobjekt im Meßfeld der Wegmeßsensoren verfahren wird.

Zur vollautomatischen Kalibrierung ist ein Magazin mit mehreren Referenzobjekten unterschiedlicher Dicke vorgesehen. Die Vorrichtung zum automatischen Einführen greift auf die im Magazin enthaltenen Referenzobjekte wahlweise zu.

Werden Schichtdicken von Isolierstoffen auf einem elektrisch leitfähigen Material gemessen, so sind in besonders vorteilhafter Weise die Wegmeßsensoren nebeneinander und dem Referenzobjekt bzw. dem Meßobjekt gegenüberliegend angeordnet. Dabei ist der eine Wegmeßsensor kapazitiv und der andere Wegmeßsensor nach dem Wirbelstromprinzip arbeitend ausgeführt.

Desweiteren ist bei der erfundungsgemäß Dickenmeßeinrichtung ein Datenspeicher vorgesehen, so daß die sich für jede Relativlage eines Referenzobjektes aus der Unlinearität der Wegmeßsensoren ergebenden Abweichungen der Sensormeßwerte von der vorgegebenen Dicke des Referenzobjektes als den Sensormeßwerten zugeordnete Meßfehler in digitalisierter Form in diesem Datenspeicher ablegen lassen. Der Datenspeicher ist vorzugsweise zweidimensional als Matrixspeicher organisiert. Berücksichtigt man weiter unterschiedliche Dicken verschiedener Referenzobjekte, dann ist der Datenspeicher dreidimensional aufzubauen.

- 9 -

Zwischen den unterschiedlichen Dicken und den diesen Dicken über den gesamten Meßbereich zugeordneten Meßfehlern lassen sich die Meßfehler linearisieren, wodurch sich auf einfache Weise "Zwischenwerte" berechnen lassen.

Es gibt nun verschiedene weitere Möglichkeiten, den Gegenstand der vorliegenden Erfindung in vorteilhafter Weise auszugestalten und weiterzubilden. Dazu ist einerseits auf die nachgeordneten Patentansprüche, andererseits auf die Erläuterung von Ausführungsbeispielen der erfindungsgemäßen Lehre anhand der Zeichnung zu verweisen. In Verbindung mit der Erläuterung der bevorzugten Ausführungsbeispiele der Erfindung anhand der Zeichnung werden auch im allgemeinen bevorzugte Ausgestaltungen der Lehre erläutert. In der Zeichnung zeigt

Fig. 1 in einer schematischen Darstellung ein Prinzip der Dickenmessung, wobei die Sensoranordnung ein erstes Ausführungsbeispiel einer erfindungsgemäßen Dickenmeßeinrichtung darstellt,

Fig. 2 in einer schematischen Darstellung ein weiteres Prinzip der Dickenmessung, wobei die Sensoranordnung ein zweites Ausführungsbeispiel einer erfindungsgemäßen Dickenmeßeinrichtung darstellt,

Fig. 3 in einer schematischen Darstellung die Adressierung eines Matrixspeichers zum Ablegen der zur Kompensation erforderlichen Meßfehler bzw. Korrekturwerte bei drei Referenzdicken und

Fig. 4 in einer schematischen Darstellung die Belegung der Matrix, wobei sowohl Korrekturwerte als auch dazu gehörenden Häufigkeitswerte abgelegt sind.

-10-

Fig. 1 zeigt ein Meßprinzip einer Dickenmeßeinrichtung zur Dickenmessung bzw. Überwachung von Bändern 1. Beidseitig des hinsichtlich seiner Dicke D zu überwachenden Bandes 1 sind zwei berührungslos arbeitende Wegmeßsensoren 2, 3 angeordnet. Diese Wegmeßsensoren 2, 3 liegen bei dem in Fig. 1 gewählten Ausführungsbeispiel einander gegenüber. Ebenso können die Wegmessensoren 2, 3, insbesondere bei der in Fig. 2 dargestellten Schichtdickenmessung von Isolierstoffen 4 auf einem leitfähigen Material 5, auch nebeneinander angeordnet sein.

Bei der erfindungsgemäßen Dickenmeßeinrichtung ist eine Vorrichtung zum automatischen Einführen eines Referenzobjektes in das Meßfeld 6 der Wegmeßsensoren 2, 3 vorgesehen. Bei dieser Vorrichtung kann es sich beispielsweise um eine Fördervorrichtung handeln, die auch das zu überwachende Band 1 fördert. Ebenso könnte dazu eine gesonderte Vorrichtung vorgesehen sein.

Fig. 2 zeigt am Beispiel der Schichtdickenmessung von Isolierstoffen 4 auf einem leitfähigen Material 5, daß die Wegmeßsensoren 2, 3 auch nebeneinander angeordnet sein können. In einem solchen Fall erfolgt die Schichtdickenmessung mit einer kombinierten Sensorik. Bei den Wegmeßsensoren 2, 3 handelt es sich nämlich einerseits um einen kapazitiven Wegmeßsensor 2, andererseits um einen nach dem Wirbelstromprinzip arbeitenden Wegmeßsensor 3. Der nach dem Wirbelstromprinzip arbeitende Wegmeßsensor 3 mißt durch den Isolierstoff 4 hindurch auf die Oberfläche des elektrisch leitenden Materials 5. Der kapazitive Wegmeßsensor 2 mißt dagegen gegen den Isolierstoff 4, da die Kapazität dieses Sensors von dem als Dielektrikum wirkenden Isolierstoff 4 beeinflußt wird. Die Schichtdicke D ergibt sich dann aus der Differenz der beiden gemessenen Abstände A, B.

Zur Kalibrierung einer nach dem in Fig. 1 gezeigten Prinzip arbeitenden Dickenmeßeinrichtung ist es erforderlich, daß ein Referenzobjekt 7 mit bekannter Dicke D_{ref} zur Verfügung steht. Bei dem in den Fig. 1 und 2 gezeigten Band 1 könnte es sich

— 11 —

ebenso um das Referenzobjekt 7 handeln. Daher sind die in Rede stehenden Figuren sowohl mit dem Bezugszeichen des Bandes 1 als auch mit dem Bezugszeichen des Referenzobjektes 7 versehen. Aus den von den Wegmeßsensoren 2, 3 gemessenen Abständen A, B und dem Abstand C zwischen den Wegmeßsensoren 2, 3 läßt sich ein Korrekturwert K (A, B) berechnen. A ist eine lineare Funktion von B und umgekehrt, so daß für die Funktion K (A, B) auch K (A) oder K (B) gesetzt werden kann. Mit anderen Worten bedeutet dies, daß der bei der Dickenmessung aufgrund der Unlinearitäten der Wegmeßsensoren 2, 3 auftretende Meßfehler in Abhängigkeit des Meßfehlers nur eines der Wegmeßsensoren 2 oder 3 korrigiert werden kann.

Durch Bewegen des Referenzobjektes 7 der Dicke D_{ref} zwischen den Wegmeßsensoren 2, 3 parallel zu deren aktiven Flächen (d.h. durch Parallelverschiebung) läßt sich die stetige Funktion K (A) oder K (B) aufnehmen, die die Unlinearitäten beider Wegmeßsensoren 2, 3 wiederspiegelt. Durch Addition kompensiert diese Funktion die Unlinearitäten der Dickenmeßeinrichtung wie folgt:

$$D_{ref} = C - (A + B) + \text{Korrekturwert } (A, B)$$

Dieses Verfahren läßt sich erfindungsgemäß auch auf die Dickenmessung mehrerer Objekte mit unterschiedlichen Dicken anwenden. Dazu wird eine Korrekturfunktion K berechnet, die von A oder B und einer variablen Referenzdicke D_{ref} abhängt. Diese Korrekturfunktion

$$K (A, D_{ref}) \text{ oder } K (B, D_{ref})$$

läßt sich mit $D_{ref} \approx C - (A + B)$ näherungsweise umformen in $K'(A, B)$.

- 12 -

Die Dicke des unbekannten Meßobjektes ergibt sich dann aus

$$D = C - (A + B) + K'(A, B),$$

wobei K' näherungsweise nur noch abhängig von A oder von B ist. Mit Hilfe der zweidimensionalen Funktion $K'(A, B)$ lassen sich wesentlich genauere Dickenmessungen durchführen, da Unlinearitäten der beiden Wegmeßsensoren 2, 3 durch $K'(A, B)$ kompensiert werden.

Die zur Kompensation der durch Unlinearität der Wegmeßsensoren 2, 3 verursachten Meßfehler erforderlichen Korrekturwerte können in bevorzugter Weise in digitalisierter Form in einem Speicher 8 abgelegt werden. Dieser Speicher 8 könnte dabei zweidimensional organisiert sein. Die Adressierung eines solchen Matrixspeichers könnte bei drei verschiedenen Referenzdicken ($D_{ref} = 0, C/2, C$) gemäß der Darstellung in Fig. 3 ausgelegt sein.

Bei der Speicherung der Korrekturwerte K in digitalisierter Form ist eine Quantisierung des Korrekturkennlinienfeldes in Ortskoordinaten notwendig. Das Feld der Korrekturwerte lässt sich entsprechend in einer Dreiecksmatrix darstellen. Werden unterschiedliche Dicken von Referenzobjekten berücksichtigt, dann kommt die Dicke des Referenzobjektes als dritte Dimension hinzu, wobei zwischen den unterschiedlichen Dicken bzw. zwischen den Meßfehlern bei unterschiedlichen Dicken linearisiert wird.

Die bei der Linearisierung durch Auslenkung des Referenzobjektes mehrfach anfallenden Korrekturwerte K können zur Mittelung des Korrekturwertes eines Intervalls bzw. einer Quantisierungsstufe verwendet werden. Dazu ist jedoch auch die Speiche

-13-

rung der Häufigkeit von Meßwerten innerhalb eines Quantisierungsintervalls erforderlich. Die Belegung könnte entsprechend der Darstellung in Fig. 4 erfolgen, wobei $H(A', B')$ die Häufigkeitswerte und $K'(A, B)$ die Korrekturwerte sind.

Die Korrekturwerte berechnen sich dann wie folgt:

$$K'(A, B) = D_{ref} - C + A + B \quad \text{für } H(A', B') = 0$$

$$= K'(A, B) - \frac{K'(A, B)}{H(A', B')} + \frac{(D_{ref} - C + A + B)}{H(A', B')}$$

$$\text{für } H(A', B') > 0$$

$$H(A', B') = H(A', B') + 1$$

Nach der Dickenlinearisierung noch "fehlende" Meßwerte, d.h. Matrixplätze mit $H(A', B') = 0$, können durch ein zweidimensionales Interpolationsverfahren gefüllt werden. Damit werden durch Linearisierung auch Messungen an Objekten verbessert, mit deren Dicke als Referenzdicke noch nicht linearisiert wurde. Dies gilt insbesondere dann, wenn die Dicken dieser Objekte zwischen als Referenzdicken zur Linearisierung bereits herangezogenen Dicken von Objekten liegen. Die Interpolation kann beispielsweise mit einem aus der Bildverarbeitung bekannten zweidimensionalen Mittelwertfilter erfolgen.

-14-

P a t e n t a n s p r ü c h e

1. Verfahren zum Kalibrieren einer Dickenmeßeinrichtung mit vorzugsweise zwei berührungslos oder tastend arbeitenden Wegmeßsensoren (2, 3),

gekennzeichnet durch folgende Verfahrensschritte:

Verbringen eines Referenzobjektes (7) mit vorgegebener Dicke (D_{ref}) in das Meßfeld (6) der Wegmeßsensoren (2, 3) und Bewegen des Referenzobjektes (7) innerhalb des Meßfeldes (6) der Wegmeßsensoren (2, 3),

wobei in beliebig vielen Relativlagen des Referenzobjektes (7) der Abstand (A, B) zwischen den Wegmeßsensoren (2, 3) und dem Referenzobjekt (7) bzw. die Dicke (D_{ref}) des Referenzobjektes (7) gemessen und für jede Relativlage die sich aus der Unlinearität der Wegmeßsensoren (2, 3) ergebende Abweichung der Sensormeßwerte von der vorgegebenen Dicke (D_{ref}) des Referenzobjektes (7) als dem jeweiligen Sensormeßwert zugeordneter Meßfehler gespeichert wird,

so daß bei der Dickenmessung die Unlinearitäten der Wegmeßsensoren (2, 3) kompensiert werden können.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Bewegung des Referenzobjektes (7) im Meßbereich der Wegmeßsensoren (2, 3) durch Auslenkung des Referenzobjektes (7) mechanisch, vorzugsweise mittels eines Stößels, erfolgt und daß das Referenzobjekt (7) dabei zu den Wegmeßsensoren (2, 3) hin bzw. von den Wegmeßsensoren (2, 3) weg bewegt wird.

3. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Bewegung des Referenzobjektes (7) im Meßbereich der Wegmeßsensoren (2, 3) durch Auslenkung des Referenzobjektes (7) mittels eines Magneten oder mittels einer Flüssigkeit, vorzugsweise mittels eines Wasserstrahls, erfolgt und daß das Referenzobjekt

-15-

(7) dabei zu den Wegmeßsensoren (2, 3) hin bzw. von den Wegmeßsensoren (2, 3) weg bewegt wird.

4. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß das Referenzobjekt (7) parallel zu den aktiven Flächen der Wegmeßsensoren (2, 3) in deren Meßfeld (6), d.h in Förderrichtung eines später zu messenden Objektes, bewegt wird.

5. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß vor der eigentlichen Dickenmessung das Referenzobjekt (7) automatisch in das Meßfeld (6) hineinbewegt, durch das Meßfeld (6) hindurchbewegt und wieder aus dem Meßfeld (6) herausbewegt wird.

6. Verfahren nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß das Referenzobjekt (7) aus einem mehrere Referenzobjekte (7) mit unterschiedlichen Dicken (D_{ref}) aufweisenden Magazin auswählbar ist.

7. Verfahren nach Anspruch 5 oder 6, dadurch gekennzeichnet, daß die Kalibrierung der Dickenmeßeinrichtung bei auswählbaren Referenzobjekten (7) und in vorgebbaren Zeitabständen automatisch erfolgt, so daß eine ständige Anpassung der Wegmeßsensoren (2, 3) an Umwelteinflüsse oder Langzeitdrifts erfolgt.

8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß als Referenzobjekt (7) das hinsichtlich seiner Dicke (D) zu überwachende Band (1) bzw. die zu überwachende Folie verwendet wird, wobei deren Soll-Wert als Referenzwert (D_{ref}) vorzugeben ist.

9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, daß zur Kompensation der Unlinearitäten der Wegmeßsensoren (2, 3) lediglich die den Meßwerten eines der Wegmeßsensoren (2 oder 3) zugeordneten Meßfehler herangezogen werden.

-16-

10. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, daß die aus den Meßfehlern ermittelten Kennlinien vorgegebener Dicken (D_{ref}) für Zwischengrößen linear hochgerechnet werden.
11. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 10, dadurch gekennzeichnet, daß die sich für jede Relativlage eines Referenzobjektes (7) aus der Unlinearität der Wegmeßsensoren (2, 3) ergebende Abweichung der Sensormeßwerte von der vorgegebenen Dicke (D_{ref}) des Referenzobjektes (7) als den Sensormeßwerten zugeordnete Meßfehler in digitalisierter Form in einem Speicher (8) abgelegt werden.
12. Dickenmeßeinrichtung zur Dickenmessung bzw. Überwachung von Schichtdicken, Bändern (1), Folien oder dgl. mit mindestens zwei berührungslos oder tastend arbeitenden, nebeneinander oder einander gegenüberliegend angeordneten Wegmeßsensoren (2, 3), insbesondere zur Durchführung des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, daß eine Vorrichtung zum automatischen Einführen eines Referenzobjektes (7) in das Meßfeld (6) der Wegmeßsensoren (2, 3) vorgesehen ist.
13. Dickenmeßeinrichtung nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, daß die Vorrichtung zum automatischen Einführen eine Fördereinrichtung aufweist, mit der das Referenzobjekt (7) im Meßfeld (6) der Wegmeßsensoren (2, 3) verfahren wird.
14. Dickenmeßeinrichtung nach Anspruch 12 oder 13, dadurch gekennzeichnet, daß ein Magazin mit mehreren Referenzobjekten (7) unterschiedlicher Dicke vorgesehen ist und daß die Vorrichtung zum automatischen Einführen auf die im Magazin enthaltenen Referenzobjekte (7) wahlweise zugreift.

-17-

15. Dickenmeßeinrichtung, wobei Schichtdicken von Isolierstoffen (4) auf einem elektrisch leitfähigen Material (5) gemessen werden, nach einem der Ansprüche 12 bis 14, dadurch gekennzeichnet, daß die Wegmeßsensoren (2, 3) nebeneinander und dem Referenzobjekt (7) bzw. dem Meßobjekt gegenüberliegend angeordnet sind und daß der eine Wegmeßsensor (2 oder 3) kapazitiv oder optisch und der andere Wegmeßsensor (2 oder 3) nach dem Wirbelstromprinzip arbeitet.

16. Dickenmeßeinrichtung nach einem der Ansprüche 12 bis 15, dadurch gekennzeichnet, daß ein Datenspeicher (8) vorgesehen ist und daß die sich für jede Relativlage eines Referenzobjektes (7) aus der Unlinearität der Wegmeßsensoren (2, 3) ergebende Abweichung der Sensormeßwerte von der vorgegebenen Dicke (D_{ref}) des Referenzobjektes (7) als den Sensormeßwerten zugeordnete Meßfehler in digitalisierter Form in diesem Datenspeicher (8) abgelegt werden.

17. Dickenmeßeinrichtung nach Anspruch 16, dadurch gekennzeichnet, daß der Datenspeicher (8) zweidimensional bzw. unter Berücksichtigung unterschiedlich dicker Referenzobjekte dreidimensional als Matrixspeicher organisiert ist.

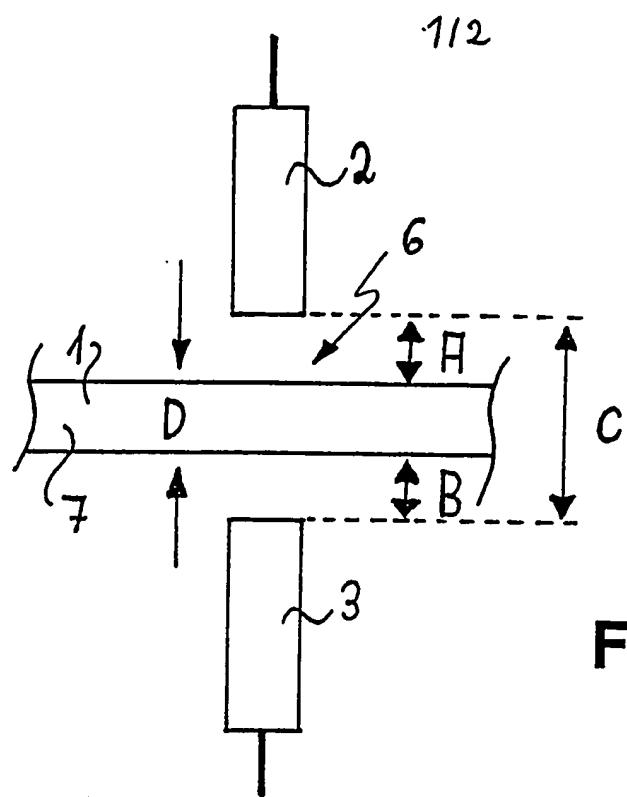


Fig. 1

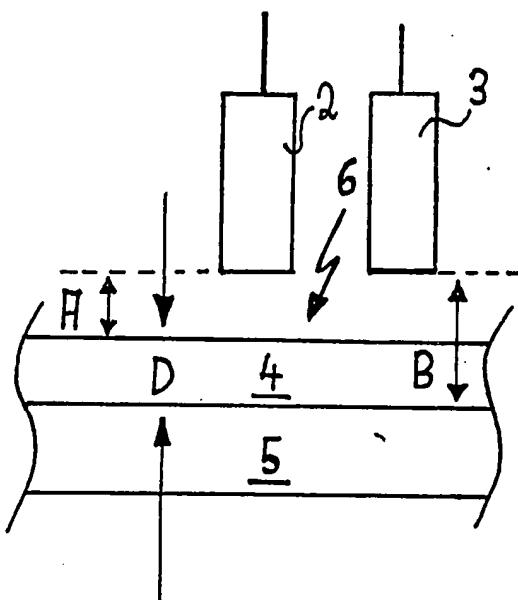


Fig. 2

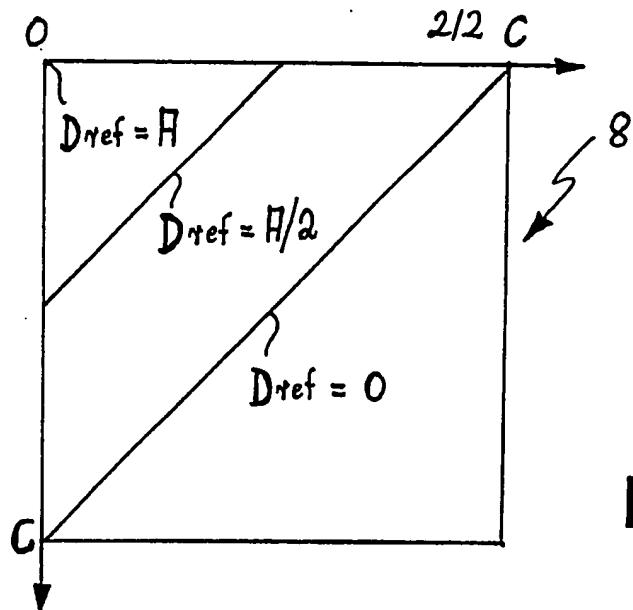


Fig. 3

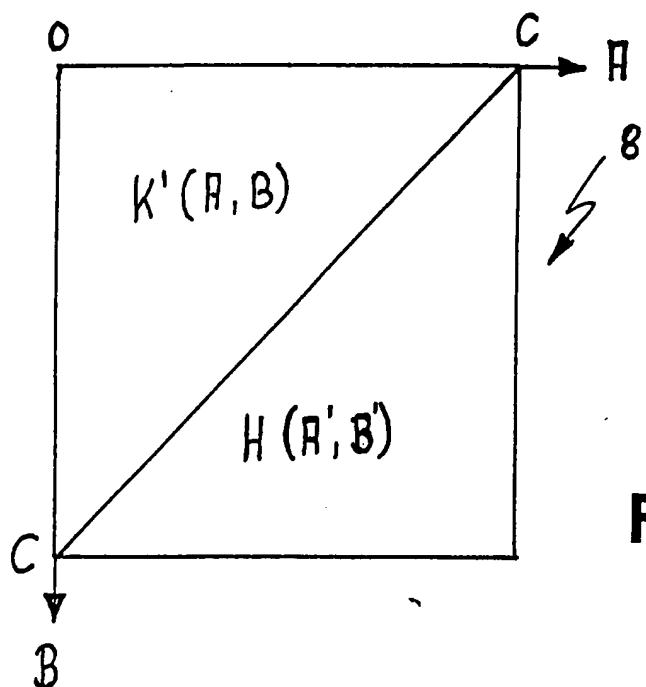


Fig. 4

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No PCT/DE 91/00292

I. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER (If several classification symbols apply, indicate all)

According to International Patent Classification (IPC) or to both National Classification and IPC

Int. Cl.⁵ G 01 B 21/08, G 01 B 11/06

II. FIELDS SEARCHED

Minimum Documentation Searched

Classification System	Classification Symbols
Int. Cl.	G 01 B 21, G 12 B 13, G 01 B 11, G 01 B 7

**Documentation Searched other than Minimum Documentation
to the Extent that such Documents are Included in the Fields Searched**

III. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of Document, ¹¹ with indication, where appropriate, of the relevant passages ¹²	Relevant to Claim No. ¹³
Y	Patent Abstracts of Japan, volume 9, No. 186 (P-377)(1909), 2 August 1985 & JP, A, 6057203 (ONODA), 3 April 1985, see abstract	1,9
Y	-- US, A, 4276480 (ACCURAY CORP), 30 June 1981, see column 6, line 10 - column 12, line 14; column 16, line 46 - column 28, line 26	1,9
A	-- US, A, 4311392 (BRIDGESTONE) 19 January 1982 see column 5, line 32 - column 7, line 4	2,3,7,8,10, 12,16,17
A	-- US, A, 4311392 (BRIDGESTONE) 19 January 1982 see column 5, line 32 - column 7, line 4	1,7,15
A	-- Patent Abstracts of Japan, volume 13, No. 397 (P-928)(3745), 5 September 1989 & JP, A, 1143908 (SHINETSU), 6 June 1989, see abstract	15
	--	

- Special categories of cited documents:¹⁰
 - "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
 - "E" earlier document but published on or after the international filing date
 - "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
 - "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
 - "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed
 - "T" later document published after the International filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
 - "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step
 - "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.
 - "&" document member of the same patent family

IV. CERTIFICATION

Date of the Actual Completion of the International Search 15 July 1991 (15.07.91)	Date of Mailing of this International Search Report 30 August 1991 (30.08.91)
International Searching Authority European Patent Office	Signature of Authorized Officer

III. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT (CONTINUED FROM THE SECOND SHEET)

Category *	Citation of Document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to Claim No
A	Patent Abstracts of Japan, volume 12, No. 133 (P-693), 22 April 1988 & JP, A, 62255806 (MITSUBISHI), 7 November 1987, see abstract	1,8,11
A	DE, A, 3324701 (TWIN CITY INTERN) 9 February 1984 see abstract	6

**ANNEX TO THE INTERNATIONAL SEARCH REPORT
ON INTERNATIONAL PATENT APPLICATION NO.**

DE 9100292

SA 45978

This annex lists the patent family members relating to the patent documents cited in the above-mentioned international search report.
The members are as contained in the European Patent Office EDP file on 26/08/91
The European Patent Office is in no way liable for these particulars which are merely given for the purpose of information.

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)		Publication date
US-A- 4276480	30-06-81	None		
US-A- 4311392	19-01-82	JP-A-	56044803	24-04-81
DE-A- 3324701	09-02-84	US-A-	4434366	28-02-84
		JP-A-	59046806	16-03-84

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen PCT/DE 91/00292

I. KLASSEKIFIKATION DES ANMELDUNGSGEGENSTANDS (bei mehreren Klassifikationsymbolen sind alle anzugeben) ⁶ Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC		
Int.Cl 5 G 01 B 21/08, G 01 B 11/06		
II. RECHERCHIERTE SACHGEBiete		
Recherchierter Mindestprüfstoff ⁷		
Klassifikationssystem	Klassifikationssymbole	
Int.Cl.	G 01 B 21 , G 12 B 13 , G 01 B 11 , G 01 B 7	
Recherchierte nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Sachgebiete fallen ⁸		
III. EINSCHLÄGIGE VERÖFFENTLICHUNGEN⁹		
Art*	Kennzeichnung der Veröffentlichung ¹¹ , soweit erforderlich unter Angabe der maßgeblichen Teile ¹²	Betr. Anspruch Nr. ¹³
Y	Patent Abstracts of Japan, Band 9, Nr. 186 (P-377)(1909), 2. August 1985 & JP, A, 6057203 (ONODA), 3. April 1985 siehe Zusammenfassung	1,9
Y	US, A, 4276480 (ACCURAY CORP) 30. Juni 1981 siehe Spalte 6, Zeile 10 - Spalte 12, Zeile 14; Spalte 16, Zeile 46 - Spalte 28, Zeile 26	1,9
A	-----	2,3,7,8,10, 12,16,17
A	US, A, 4311392 (BRIDGESTONE) 19. Januar 1982 siehe Spalte 5, Zeile 32 - Spalte 7, Zeile 4	1,7,15
	-----	./. .
<p>* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen¹⁰:</p> <p>"A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist</p> <p>"E" älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem Internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist</p> <p>"L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)</p> <p>"O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht</p> <p>"P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist</p> <p>"T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist</p> <p>"X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als neu oder auf erforderlicher Tätigkeit beruhend betrachtet werden</p> <p>"Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erforderlicher Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist</p> <p>"&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist</p>		
IV. BESCHEINIGUNG		
Datum des Abschlusses der internationalen Recherche	Absendedatum des internationalen Recherchenberichts	
15. Juli 1991	30. 08. 91	
Internationale Recherchenbehörde	Unterschrift des bevollmächtigten Bediensteten	
Europäisches Patentamt	M. PEIS	M. Peis

III. EINSCHLÄGIGE VERÖFFENTLICHUNGEN (Fortsetzung von Blatt 2)		
Art.	Kennzeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der maßgeblichen Teile	Extr. Anspruch Nr.
A	Patent Abstracts of Japan, Band 13, Nr. 397 (P-928)(3745), 5. September 1989 & JP, A, 1143908 (SHINETSU), 6. Juni 1989 siehe Zusammenfassung	15
A	----- Patent Abstracts of Japan, Band 12, Nr. 133 (P-693), 22. April 1988 & JP, A, 62255806 (MITSUBISHI), 7. November 1987 siehe Zusammenfassung	1,8,11
A	----- DE, A, 3324701 (TWIN CITY INTERN) 9. Februar 1984 siehe Zusammenfassung	6

**ANHANG ZUM INTERNATIONALEN RECHERCHENBERICHT
ÜBER DIE INTERNATIONALE PATENTANMELDUNG NR.**

DE 9100292
SA 45978

In diesem Anhang sind die Mitglieder der Patentfamilien der im obengenannten internationalen Recherchenbericht angeführten Patendokumente angegeben.
Die Angaben über die Familienmitglieder entsprechen dem Stand der Datei des Europäischen Patentamts am 26/08/91.
Diese Angaben dienen nur zur Unterreichung und erfolgen ohne Gewähr.

Im Recherchenbericht angeführtes Patendokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
US-A- 4276480	30-06-81	Keine	
US-A- 4311392	19-01-82	JP-A- 56044803	24-04-81
DE-A- 3324701	09-02-84	US-A- 4434366 JP-A- 59046806	28-02-84 16-03-84

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- BLACK BORDERS**
- IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- FADED TEXT OR DRAWING**
- BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- SKEWED/SLANTED IMAGES**
- COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- GRAY SCALE DOCUMENTS**
- LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- OTHER:** _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.